



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

03CD  
18  
JW

**In re patent application of**

S. Kittaka et al.

**Serial No.:** 09/942,663

**Group Art Unit:** Unknown

**Filed:** August 31, 2001

**Examiner:** Unknown

**For:** OPTICAL DEVICE AND SPECTROSCOPIC AND POLARIZATION  
SEPARATING APPARATUS USING THE SAME

Assistant Commissioner of Patents  
Washington, D.C. 20231

**SUBMISSION OF PRIORITY DOCUMENT**

Sir:

Submitted herewith is a certified copy of Japanese Applications Number 2000-266533 filed on September 4, 2000, 2000-368465 filed on December 4, 2000 and 2001-071830 filed on March 14, 2001 upon which applications the claim for priority is based.

Respectfully submitted,



Andrew M. Calderon  
Reg. No. 38,093

McGuireWoods LLP  
1750 Tysons Boulevard, Suite 1800  
McLean, VA 22102  
(703)712-5000



日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日

Date of Application:

2000年 9月 4日

出願番号

Application Number:

特願2000-266533

出願人

Applicant(s):

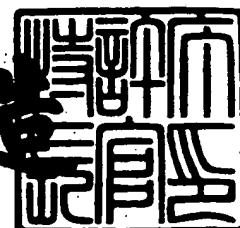
日本板硝子株式会社

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2001年 8月 3日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及川耕三



【書類名】 特許願  
【整理番号】 00P289  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区道修町3丁目5番11号 日本板硝子株式会社内  
【氏名】 橘高 重雄  
【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区道修町3丁目5番11号 日本板硝子株式会社内  
【氏名】 奈良 正俊  
【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区道修町3丁目5番11号 日本板硝子株式会社内  
【氏名】 浅井 貴弘  
【発明者】  
【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区道修町3丁目5番11号 日本板硝子株式会社内  
【氏名】 小山 正  
【特許出願人】  
【識別番号】 000004008  
【氏名又は名称】 日本板硝子株式会社  
【代表者】 出原 洋三  
【代理人】  
【識別番号】 100069084  
【弁理士】  
【氏名又は名称】 大野 精市  
【手数料の表示】  
【予納台帳番号】 012298

特2000-266533

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9706787

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光学素子およびそれを用いた分光装置

【特許請求の範囲】

## 【請求項1】

使用波長に対して透明な基板上に形成した周期的に同じ構造を繰り返す光学的多層膜層により構成される光学素子において、多層膜層の表面と平行でない端面を光入射面もしくは光出射面の少なくとも片方として使用することを特徴とする光学素子。

## 【請求項2】

前記多層膜層の1周期の長さaが、使用波長λに対して次式の範囲であることを特徴とする請求項1に記載の光学素子。

$$0.5\lambda/n_M \leq a$$

ただし、 $n_M$ は多層膜1周期範囲内での、波長λにおける平均屈折率である。

## 【請求項3】

前記多層膜層の1周期が互いに異なる材料各1層から構成されることを特徴とする請求項1に記載の光学素子。

## 【請求項4】

前記多層膜層を構成する各層の境界のなかに、連続的に組成もしくは特性が変化する層を含むことを特徴とする請求項1に記載の光学素子。

## 【請求項5】

前記多層膜層を構成する複数の物質間における最大屈折率差が、使用波長において0.1以上であることを特徴とする請求項1に記載の光学素子。

## 【請求項6】

前記多層膜層への光入射端面が該多層膜層と直交することを特徴とする請求項1に記載の光学素子。

## 【請求項7】

前記多層膜層からの光出射端面が該多層膜層と直交することを特徴とする請求項1に記載の光学素子。

## 【請求項8】

前記多層膜層への光入射端面と該多層膜層からの光出射端面が互いに平行であることを特徴とする請求項1に記載の光学素子。

【請求項9】

請求項1に記載の光学素子を用いて、多層膜層の片側端面を光入射面として複数波長の混合した光束を入射させ、多層膜層から基板へ波長ごとに異なる角度で光線を出射させることを特徴とする分光装置。

【請求項10】

前記多層膜層を平行平面基板の片側表面に形成し、多層膜層から基板へ伝播する光線を基板の内部で全反射させて、基板の端面より取り出すことを特徴とする請求項9に記載の分光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光通信システム、光計測機器等に用いられる光学素子および分光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

近年、インターネットの急速な普及により、光ファイバー通信網の容量の増大が強く求められており、その手段としてWDM（波長多重）通信の開発が急速に進められている。WDM通信においては、わずかな波長差の光が個別の情報を伝達することから、波長選択性の良い光分波器、フィルタ、アイソレータといった光学機能素子が必要である。上記機能素子においては、量産性、小型化、集積化、安定性などが強く求められていることは言うまでもない。

【0003】

波長多重光通信のように人為的に複数の波長が多重化された光信号を分波・検出する目的や、分光測定のように被測定光のスペクトル解析等の目的に光分波器（または分光器）が用いられる。この光分波器には、プリズム、波長フィルタ、回折格子等の分光素子が必要とされる。とくに回折格子は代表的な分光素子であ

り、石英やシリコン基板などの表面に周期的な微細凹凸構造を形成したものが用いられている。その周期的凹凸構造によって発生する回折光が互いに干渉し、ある特定波長の光が特定の方向に出射される。この特性が分波素子として利用されている。

#### 【0004】

回折格子を用いた分光光学系の一例を図11に示す。光ファイバ21から出射した波長多重化された光線30はコリメータレンズ22で平行光31となり回折格子23に入射される。この光は回折格子23で分波され、波長ごとに異なった出射角をもって出射される。この出射光32は再びコリメータレンズ22を通過し、受光面24上に集光スポット群40を形成する。この各集光スポットの位置に受光手段としてフォトダイオードなどの光検出器、あるいは光ファイバの端面を設置すれば、所定の波長毎に分離した信号出力を得ることができる。また、回折格子に入射する光が連続スペクトルをもっていれば、受光面に設置する受光手段の間隔に応じてスペクトルの離散化した出力が得られる。

#### 【0005】

反射回折格子の場合、回折格子の回折次数をm、格子定数をd、使用波長を $\lambda$ とし、回折格子を形成した面の法線と入射光線（光ファイバの光軸5）のなす角を $\theta_i$ 、出射光線のなす角を $\theta_o$ とすると、次式が成り立つ。

$$\sin \theta_i + \sin \theta_o = m \lambda / d$$

$\theta_i$ を一定とし、波長が $\Delta \lambda$ だけ変化すると、回折格子から距離Lだけ離れた受光面上に到達する光線の位置の変化 $\Delta x$ は、

$$\Delta x = (L m / (d \cdot \cos \theta_o)) \cdot \Delta \lambda$$

で与えられる。したがって波長間に応じて上式から計算される位置間隔で受光手段を受光面上に配列しておけば、各波長ごとに分離した信号が得られる。

#### 【0006】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかし、回折格子からの出射角の波長依存性は小さい。例えば、光通信で用いられる波長1.55  $\mu m$ 帯で波長間隔0.8 nm（周波数間隔100 GHzに相当）の光を分波する場合を考える。回折次数m=25次とし、入射角 $\theta_i = 71$

5°、出射角  $\theta_0 = 38.5^\circ$  とすると、回折格子の格子定数  $d$  は  $24.7 \mu m$  となる。この系で上記波長間隔  $0.8 nm$  に対して得られる出射角の変化は約  $0.06^\circ$  に過ぎず、 $50 \mu m$  間隔で配列した受光素子でこれを分離して受光するためには  $L = 48 mm$  の距離が必要となる。

## 【0007】

すなわち、受光面上の光スポットの位置変化  $\Delta x$  は受光手段が一定の大きさをもつため、通常数  $10 \mu m$  以上とする必要がある。回折格子の定数である  $m$ 、 $d$  は大きくは変えられないため、小さい波長変化  $\Delta \lambda$  に対して必要な  $\Delta x$  を得るためにには距離  $L$  を大きくする必要があり、回折格子を使用した光分波器の性能を向上させるためには装置を大型化せざるを得ないという問題点があった。

## 【0008】

本発明はこのような問題点を解決するためになされたもので、回折格子より波長に対して大きな角度変化を生じる光学素子を提供し、分光光学系を小型化することを目的とする。

## 【0009】

## 【課題を解決するための手段】

本発明においては、使用波長に対して透明な基板上に形成した周期的に同じ構造を繰り返す光学的多層膜層により構成される光学素子において、多層膜層の表面と平行でない端面を光入射面もしくは光出射面の少なくとも片方として使用する光学素子を提案する。

## 【0010】

このとき、多層膜層の1周期の長さ  $a$  が、使用波長  $\lambda$  に対して

$$0.5\lambda/n_M \leq a$$

の範囲とすることが必要である。ただし、 $n_M$  は多層膜1周期範囲内での、波長  $\lambda$  における平均屈折率である。

## 【0011】

多層膜層は少なくとも1周期が互いに異なる材料2層から構成されている必要があり、構成する各層の境界に、連続的に組成もしくは特性が変化する層を含ませてもよい。ただし、構成する複数の物質間における最大屈折率差が、使用波長

において0.1以上であることが望ましい。

#### 【0012】

また、典型的には多層膜層への光入射端面および／または光出射端面を多層膜層と直交させる。あるいは多層膜層への光入射端面と該多層膜層からの光出射端面を互いに平行とさせる。

#### 【0013】

上記のような光学素子を用いて、多層膜層の片側端面を光入射面として複数波長の混合した光束を入射させ、多層膜層から基板へ波長ごとに異なる角度で光線を出射させる分光素子が構成できる。この構成では、多層膜層を平行平面基板の片側表面に形成し、多層膜層から基板へ伝播する光線を基板の内部で全反射させて、基板の端面より取り出すことが可能である。

#### 【0014】

本発明では、周期的多層膜層の端面を光入射面、もしくは光出射面とする光学素子において、この多層膜層から漏出する光の指向性が良く、その角度の波長依存性が大きいことを利用するものである。

#### 【0015】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について具体的に説明する。

光機能素子のなかで、光の波長程度もしくはそれ以下の厚さを有する薄膜を石英やガラスなどの基板上に積層した多層膜を、反射防止膜、偏光分離フィルタ、波長選択性フィルタなどとして利用した光学素子は既に実用化しており、広く用いられている。

#### 【0016】

ところで、光学的多層膜の利用にあたっては、通常基板表面に設けた多層膜層の最上面から最下面まで貫通する光線を前提として考えられているものがほとんどである。多層膜層の端面、すなわち周期的構造が露出している面を、光入射面もしくは光出射面として使用した例としては、以下のようなものがあるに過ぎない。

#### 【0017】

傾いた多層膜層の断面に入射する光線の方向の理論的な解析が示され (Applied Physics B, 39巻, p.231, 1986年)、また、構造性複屈折による偏光分離をねらいとし、多層膜層の屈折率がTE, THの偏光によって大きく異なる性質 (いわゆる構造性複屈折) を利用して、複屈折材料と同様の偏光分離効果を得たことが開示されている (Optics Letters 15巻, 9号, p.516, 1990年)。さらに周期的多層膜層を1次元フォトニッククリスタルと考え、第1バンドの形状がバンドギャップ近傍で直線状となることから、非常に大きい分散 (スーパープリズム効果) が得られるとした報告もある ("International Workshop on Photonic and Electromagnetic Crystal Structures" Technical Digest, F1-3)。

本発明者らはこれらの基礎的研究成果から示唆を受けて以下に説明する光学素子の発明に至った。

#### 【0018】

図1は本発明の実施形態における光学素子を模式的に示した断面図である。透明な平行平面基板2の片側表面2aに、周期的多層膜層1を形成する。多層膜は、例えば厚さ $t_A$ の物質A (屈折率、 $n_A$ ) と厚さ $t_B$ の物質B (屈折率、 $n_B$ ) を交互に積み重ねた周期 ( $t_A + t_B$ ) の構造とする。

#### 【0019】

本発明者らの実験によると、多層膜層1の端面1aを研磨して波長 $\lambda$ のレーザ光3を入射させると、大部分の光は多層膜層1内部での導波光4となる。ところが、一部の光は基板側への漏出光5となる。この漏出光5の方向 (角度 $\theta$ ) は波長 $\lambda$ に対してほぼ一定であり、指向性の非常に良い光束となる。また、 $\theta$ の値は $\lambda$ が異なると大きく変化するため、高分解能の分光素子として利用することができる。

#### 【0020】

上記現象の原理について簡単に説明する。

屈折率 $n_s$ の基板上に均一な屈折率 $n_m$  ( $n_s$ より大) の薄膜層を形成して、側面の空气中から光を入射させる場合、漏出光の角度 $\theta$ は作図 (図2) により求めることができる。

図2における各円の半径は、それぞれの媒体の屈折率に比例している。空气中

からの入射光線 A 1, B 1 は (空気) と示した円 (以下、空気円と呼ぶ。薄膜、基板についても同様に薄膜円、基板円と呼ぶ) 内に入射角に応じた角度で長さが円の半径に等しいベクトルで示されている。入射角の比較的小さい光線 A 1 が薄膜に入射したときの方向は次のように作図される。光線 A 1 のベクトルが空気円の円周と接する点から空気円と薄膜円の中心を結ぶ直線に平行に直線を延ばす。この直線が薄膜円の円周と交わる点から円周に対する法線方向にベクトルを引く。これが薄膜内の光線 A 2 を示す。同様に光線 A 2 が基板に入射したときの方向の作図を試みる。光線 A 2 を示すベクトルが薄膜円と接する点から、薄膜円と基板円の中心を結ぶ直線に平行な直線を引く。ところが図のようにこの直線は基板円の円周とは交わらない。これは光線 A 2 が基板内には入射しないことを示している。以上より、入射角の比較的小さい入射光線 A 1 は、図 2 右側の挿入図のように、薄膜層内で屈折光 A 2 となり、そのまま薄膜層内で全反射をくりかえしつつ導波することがわかる。しかし、入射角の大きい光線 B 1 は、薄膜層内で屈折光 B 2 となり、さらに薄膜層と基板の境界で漏出光 B 3 となることがわかる。図 2 から明らかなように、空気から入射する光線 (A 1, B 1 など) の入射角度がランダムであれば、漏出光 B 3 の角度はある程度の広がりをもったものとなる。

ところが、周期的多層膜の場合は、屈折の方向を表わす曲線が円とならず、開いた 2 本の曲線となる (図 3)。従って、漏出光の広がりは図 2 の場合よりも小さくなり、指向性が向上する。

### 【0021】

図 3 に示す曲線を、光の波長ごとに示したものが図 4 である。このような開いた曲線群 (バンド図) は、計算によって求めることができる。計算の方法は、"Photonic Crystals", Princeton University Press (1995) あるいは、Physical Review B 44巻、16号、p.8565、1991年、などに詳しい。

### 【0022】

周期的多層膜層の場合、バンド図の範囲は縦方向 (積層方向) には限定されるが、横方向 (平面の広がる方向) は無限に広がっている。図 4 は実施例 1 の構造におけるバンド計算の結果であり、入射光の電場の偏光によって 2 種類 (TE, TH) に分かれる。なお、図 4 の各曲線に対して示した数字は多層膜の周期 / 波

長（ $a/\lambda$ ）の値である。

【0023】

本発明者らの実験によると、多層膜層の漏出光角度 $\theta$ は、ほぼ一定値となり、出射光B3は非常に指向性の良い光線となる。 $\theta$ の値は波長による差が大きいので、高分解能の波長分離が実現する。したがって、図1の構成による多層膜は高解像の分光素子として用いることができる。

【0024】

また、図4に示すように、TE、TH偏光によるバンド図には違いがある。従って、同じ波長の光であっても $\theta$ の値が偏光によって大きく異なる。このことから、本発明による素子は偏光分離に用いることもできる。

【0025】

図3に示すように、漏出光の指向性をよくするためには、バンド図の曲線が閉じた楕円状とならず、開いた曲線となる領域が望ましい。ここで、使用波長 $\lambda$ における多層膜層一周期あたりの平均屈折率 $n_M$ を

$$n_M = (t_1 \cdot n_1 + t_2 \cdot n_2 + \dots + t_n \cdot n_n) / T$$

と定義する。ただし、 $t_1, t_2, \dots$ は1周期を構成する薄膜層1, 2,  $\dots$   $n$ の厚さ、 $n_1, n_2, \dots, n_n$ は各薄膜層の屈折率である。当然、1周期の厚さ $T$ は、

$$T = t_1 + t_2 + \dots + t_n$$

である。

【0026】

開いた曲線が得られるための条件は、

$$0.5\lambda/n_M \leq a$$

により表わされる。 $0.5\lambda/n_M > a$ の範囲では、閉じた曲線となってしまうので上記条件を満たさない。

【0027】

本発明に用いる多層膜の材料としては、使用波長域における透明性が確保できるものであれば特に限定はないが、一般的に多層膜の材料として用いられていて耐久性や製膜コストの点で優れたシリカ、酸化チタン、酸化タンタル、酸化ニオ

ブ、フッ化マグネシウムなどが適する材料である。ただし、材料間の屈折率差が小さいと変調作用が弱くなり、期待される作用が発揮されないこともあるので、屈折率差として0.1以上確保することが望ましい。材料を適切に選定すれば、本発明の作用は通常使用される200nm～20μm程度の波長範囲で発揮される。

#### 【0028】

1周期内における多層膜の構造は、物理的厚さの等しい2層とするのが最も単純であるが、(1)2層の膜厚比を変える、(2)3層以上とする、(3)膜材質を3種以上とする、といった手段により平均屈折率やバンド構造の調整を行ない、分波特性や偏光特性、入射光の利用効率の改善などに役立てることも可能である。

#### 【0029】

また、多層膜を構成する各層が、連続的に屈折率が変化するものであっても、屈折率差が確保されていれば特性はほとんど同じとなる。

#### 【0030】

基板の材質としても、使用波長域における透明性が確保できるものであれば特に限定はなく、ソーダライムガラス、光学ガラス、シリカ、シリコン、あるいはガリウム砒素などの化合物半導体などが適する材料である。温度特性などの限定が小さければ、プラスチック材料でも良い。ただし、図3に示されるように、多層膜層のバンド図との関係で漏出光が発生するような屈折率でなければならない。

#### 【0031】

多層膜を形成する方法としては、真空蒸着、スパッタ、イオンアシスト蒸着、CVD法などを利用することができる。また、多層膜層の空気面2Cには保護層7を付けても良い(図5参照)。

#### 【0032】

本発明による漏出光5は、たとえば図5のように凸レンズ8により集光して、光検出器9上に波長ごとに集光させれば分光器として使用することができる。また、図6のように基板2が平行平面で光線の導波方向に充分に大きい場合は、漏

出光5は全反射を繰り返し、基板端面2bからその幅の光束10となって射出される。この場合は、出射光が2方向に分離してそれぞれの強度が弱くなるが、出射面の幅が基板の厚さにほぼ等しくなるので、レンズなどによる集光を行なわなくても細い線状の光束とすることができます。さらに、円筒形状の凸レンズなどを用いれば、細い線状の像を点像に近くして光強度を大きくすることもできる。

#### 【0033】

以下、具体的な構成例について説明する。

図7に示すように、厚さ1mmの平行平面基板2（材質はソーダライムガラス）の片面に多層膜層1を形成した。基板2の厚さは一般に0.1~2mm程度であればよい。基板表面にシリカ（厚さ $t_1=150\text{ nm}$ ）の薄膜、次に酸化チタン（厚さ $t_2=150\text{ nm}$ ）の薄膜を形成して1周期となし、これを20周期（40層）繰り返してから、保護層7として厚さ2 $\mu\text{m}$ のシリカ膜をつけた。

上記基板の両端面2cを表面と垂直に切断・研磨して幅10mmとして、多層膜部分（厚さ6 $\mu\text{m}$ ）の端面1aに、図8に示す光学系を用いてレーザ光を入射させた。

#### 【0034】

レーザ光源11としては波長可変レーザを用いた。これが射出したレーザ光20は1/4波長板12および偏光プリズム13を通過した後、対物レンズ14により概略 $NA=0.1$ の収束光とし、焦点位置に多層膜層1を置いて垂直入射とした。

#### 【0035】

その結果、図9に示すように、約200mm離したスクリーン15上に、幅2mm、長さ（図9では紙面の垂直方向）50mm程度の線状の漏出光が投影された。角度 $\theta$ は図10に示すように、647nmから680nmまでの約33nmの波長変化に対して約27度の変化を示した。従来の回折格子に比べておよそ10倍大きい波長分散が得られたといえる。

#### 【0036】

##### 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、周期的多層膜層からの漏出光が良好な

指向性をもち、その方向が大きな波長依存性をもつことを利用して、装置を大型化することなく高分解能の分光装置、偏光分離装置を実現することができる。多層膜の製作は既存の技術を用いて比較的安価に量産することができるので、これらの光学素子の低価格化を図ることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の光学素子の基本構造を示す模式図である。

【図2】

均質な薄膜層への入射光の屈折角を表わす図である。

【図3】

周期的多層膜層への入射光の屈折角を表わす図である。

【図4】

実施例1の条件におけるTE, TM偏光のバンド図である。

【図5】

本発明を分光装置の構成図である。

【図6】

本発明の分光装置の他の構成を示す図である。

【図7】

本発明の光学素子の実施例を示す図である。

【図8】

本発明の光学素子を評価する光学系を示す図である。

【図9】

実施例の分光光学系を示す模式図である。

【図10】

実施例の特性を示す図である。

【図11】

回折格子を用いた分光光学系の従来例を示す図である。

【符号の説明】

1 多層膜層

1 a 多層膜層の入射端面

2 基板

2 a 基板の多層膜側表面

2 b、2 c 基板端面

3 入射光

4 導波光

5 漏出光

7 保護層

8 凸レンズ

9 光検出器

10 基板端面からの出射光

11 レーザ光源

12 1/4 波長板

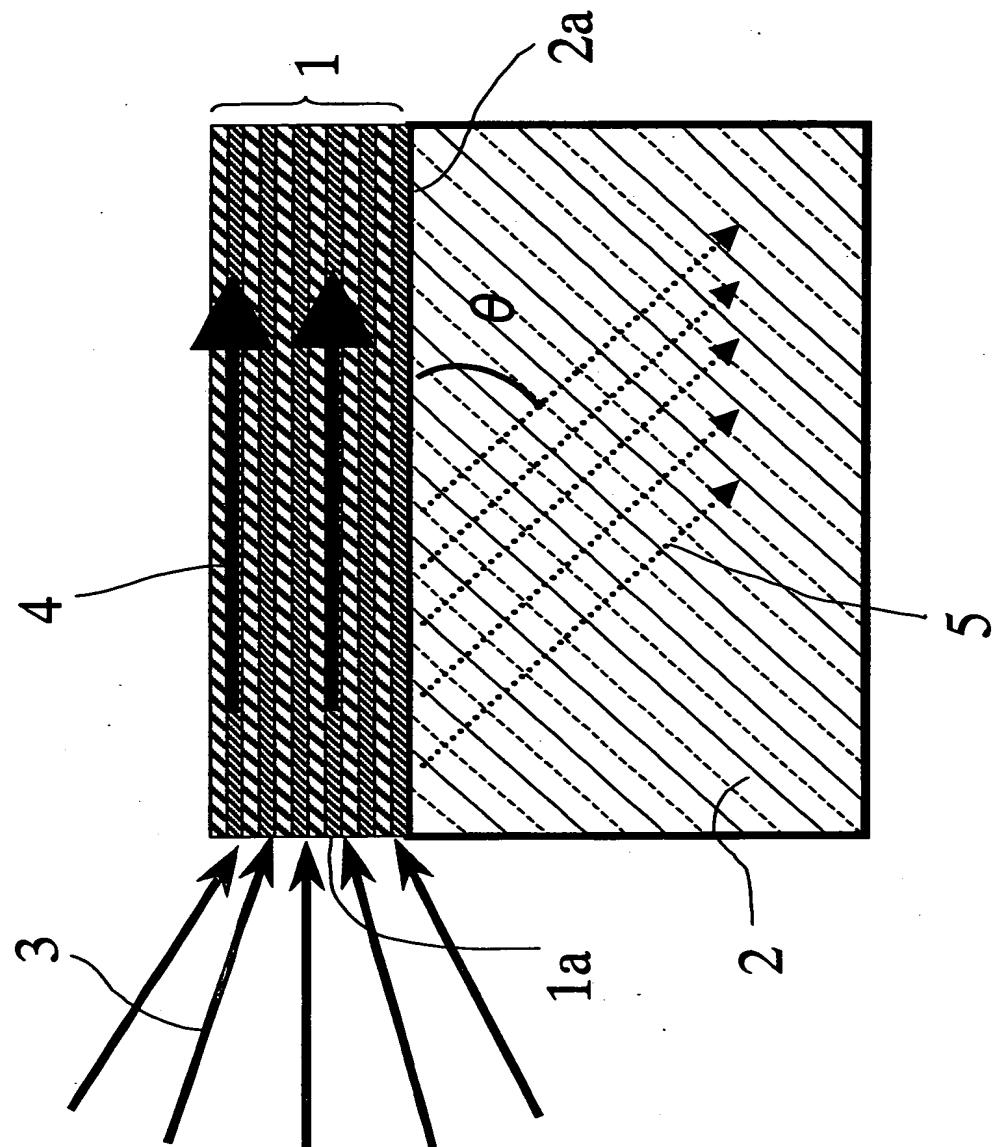
13 偏光プリズム

14 対物レンズ

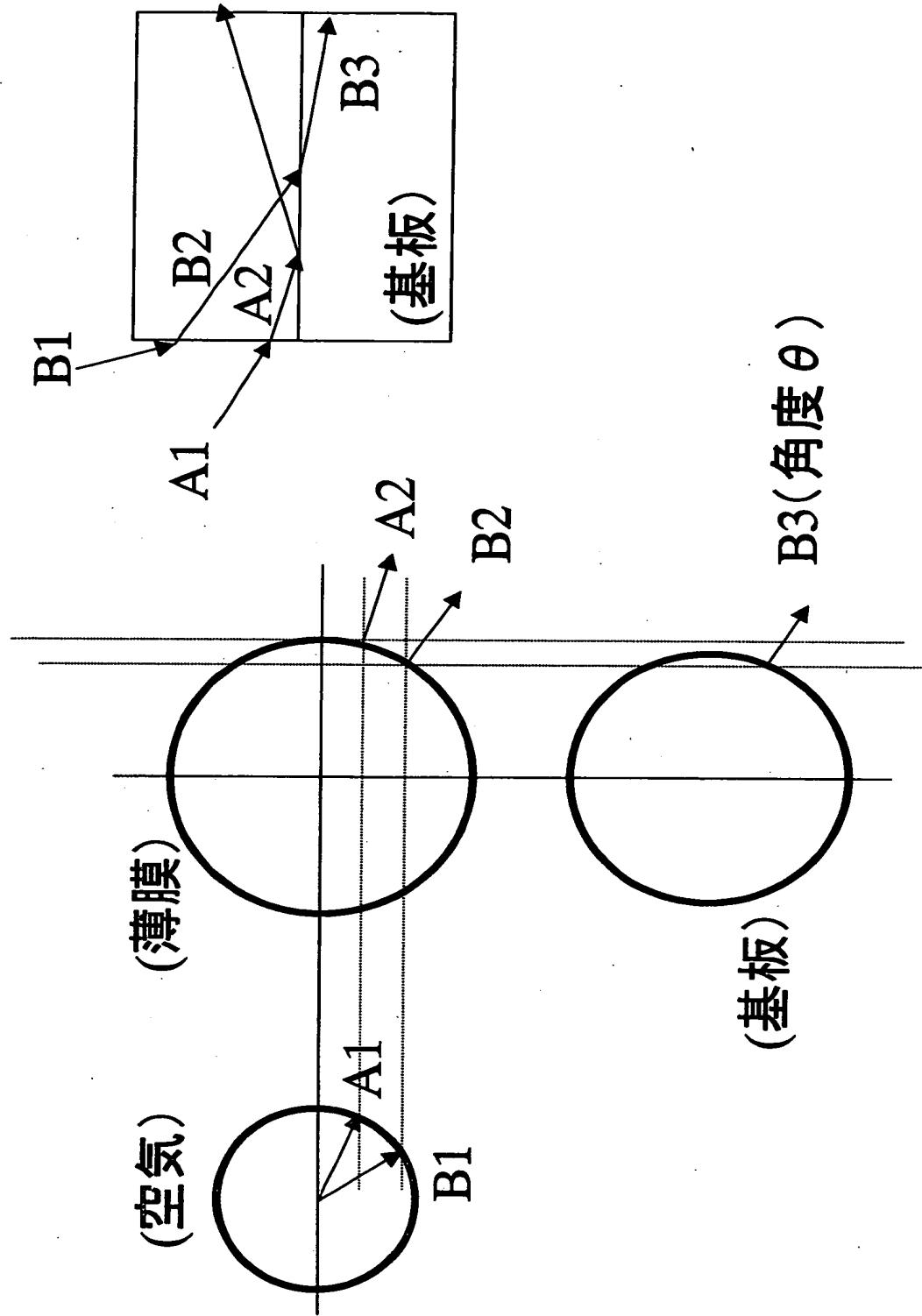
15 スクリーン

【書類名】 図面

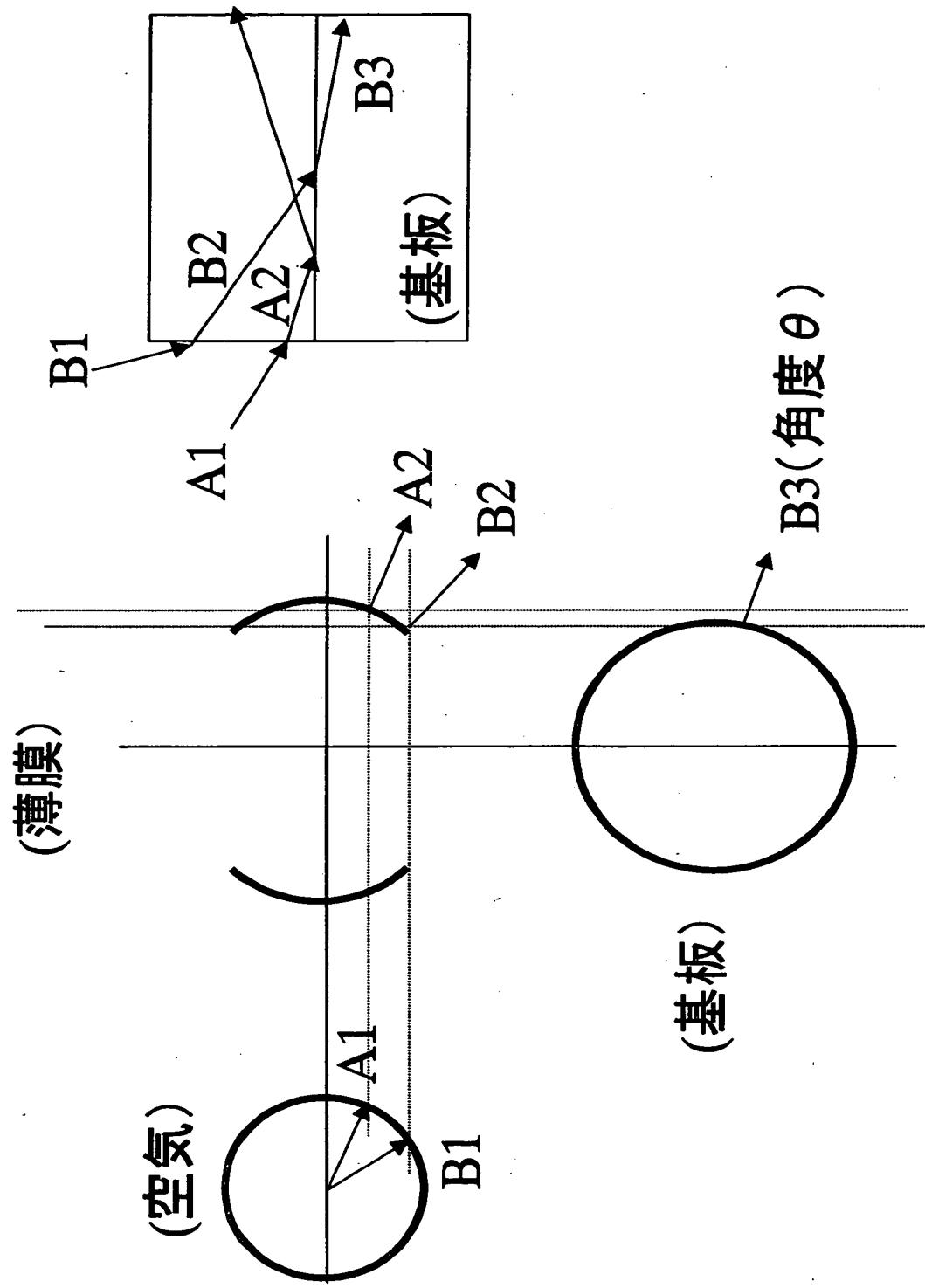
【図1】



【図2】

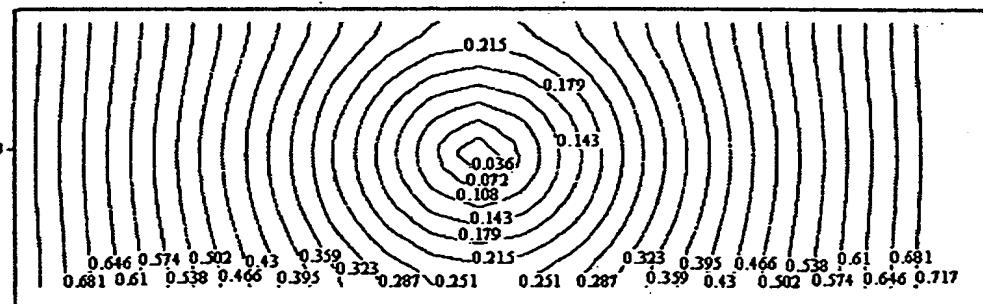


【図3】

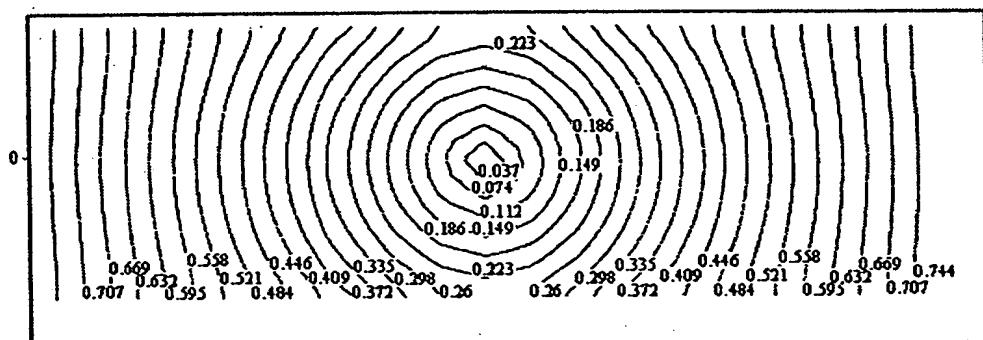


【図4】

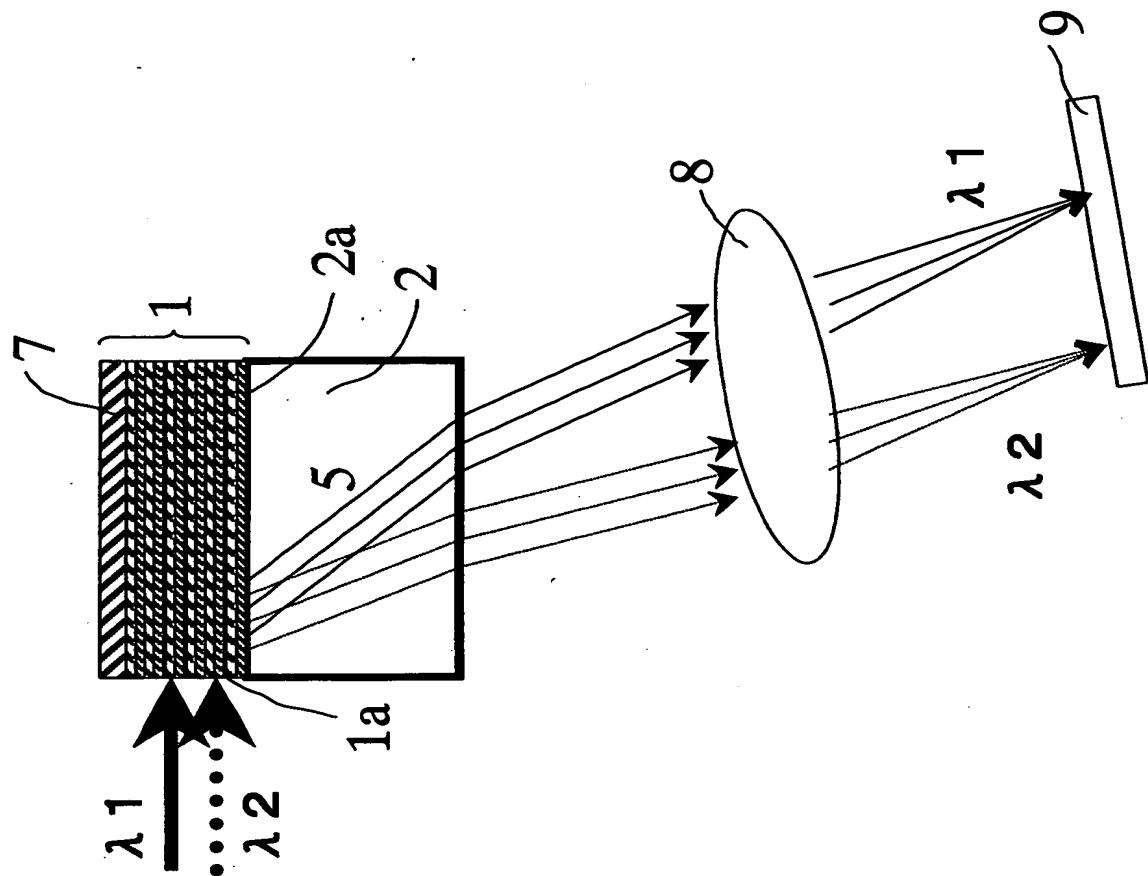
(TE)



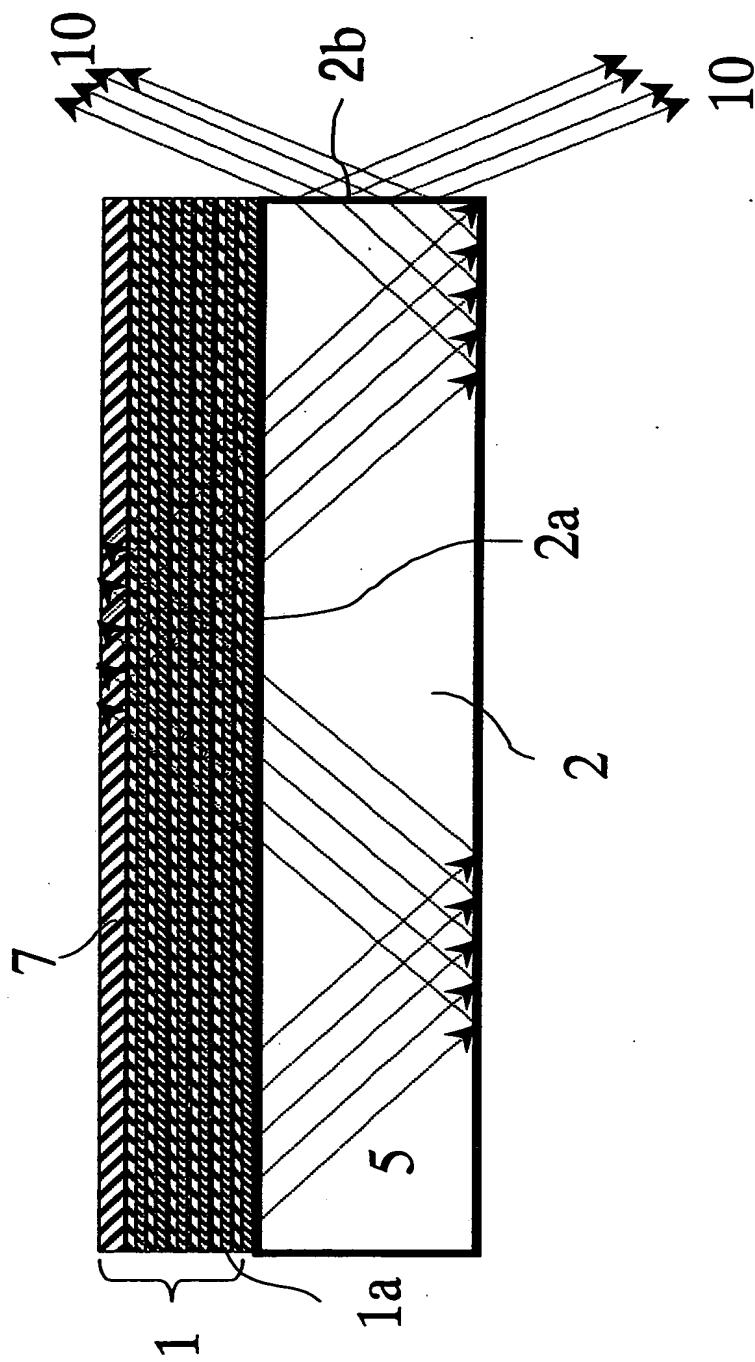
(TH)



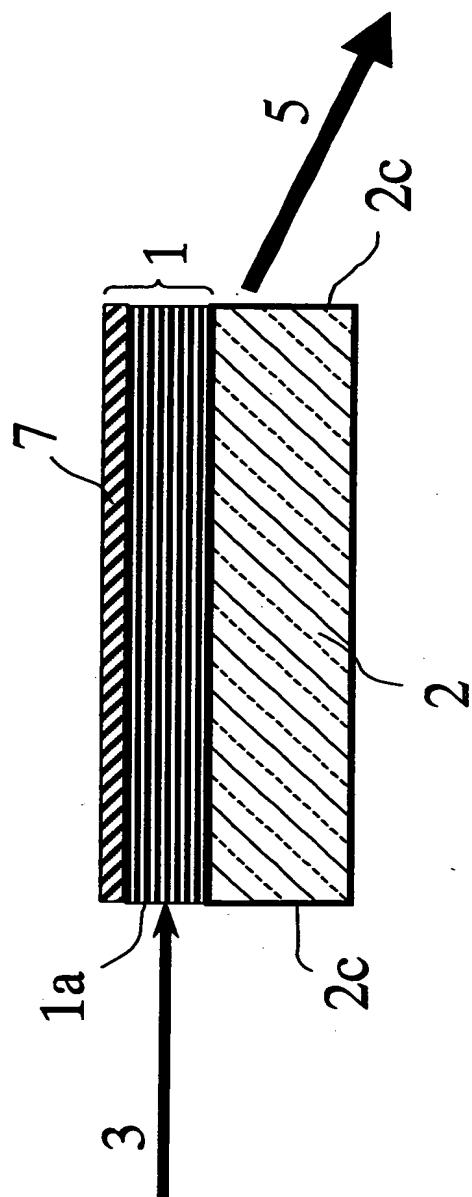
【図5】



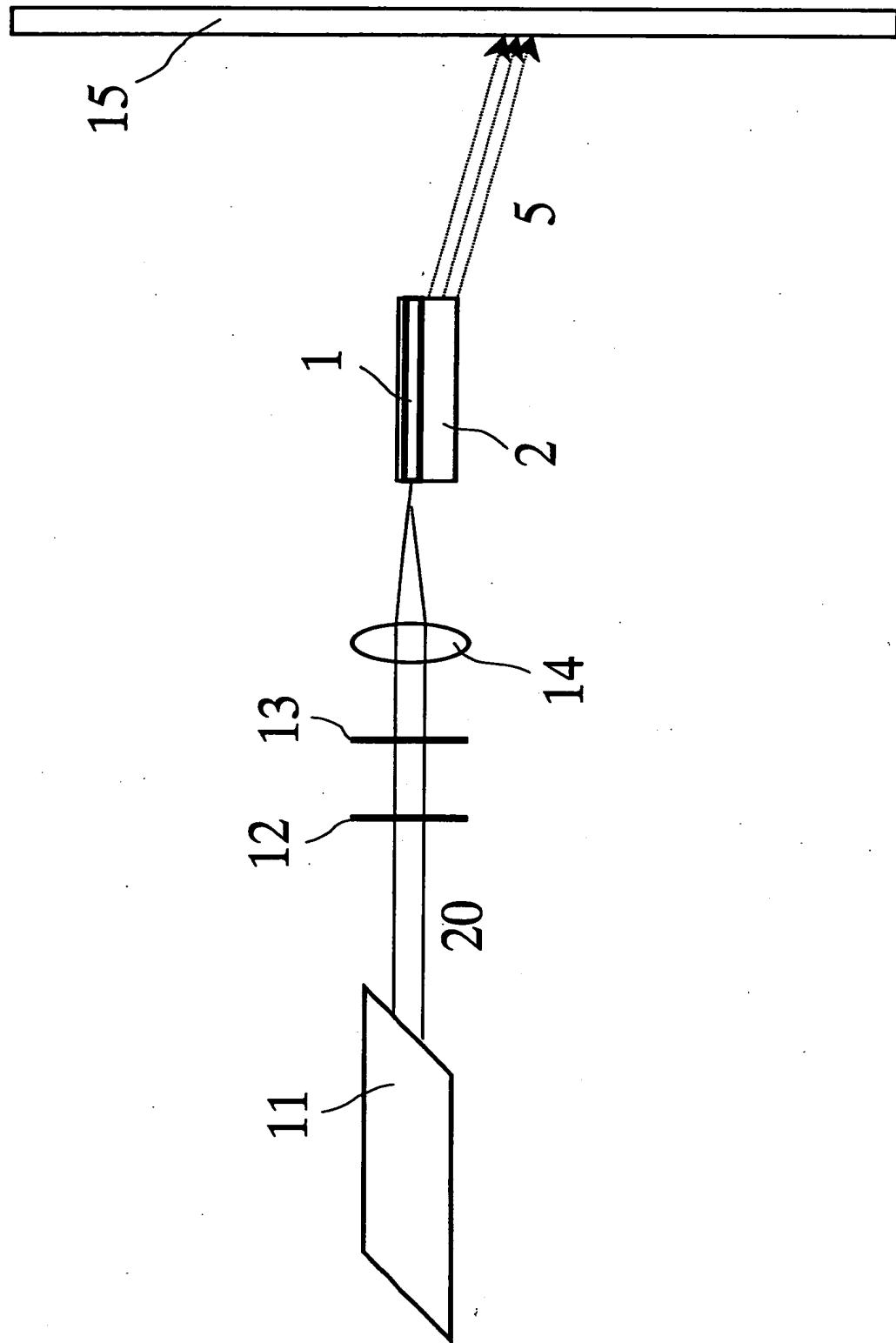
【図6】



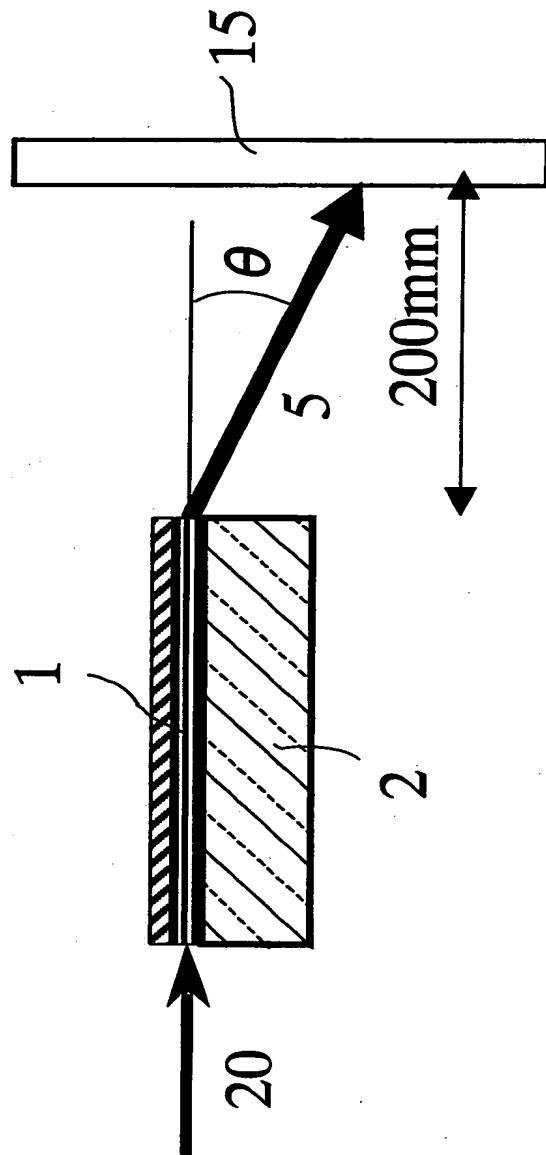
【図7】



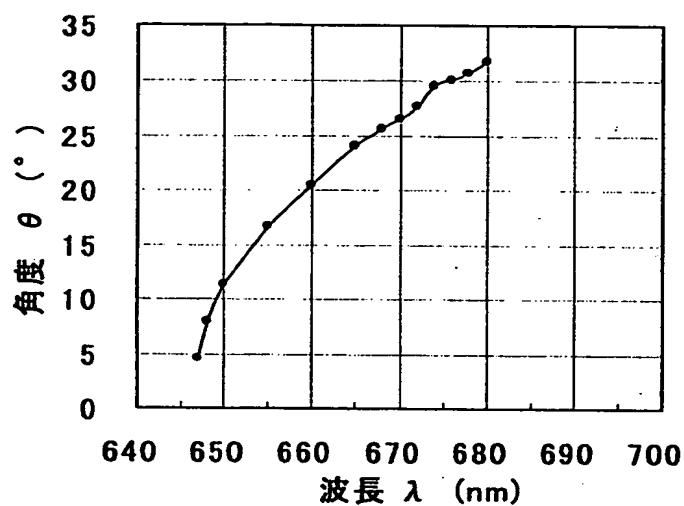
【図8】



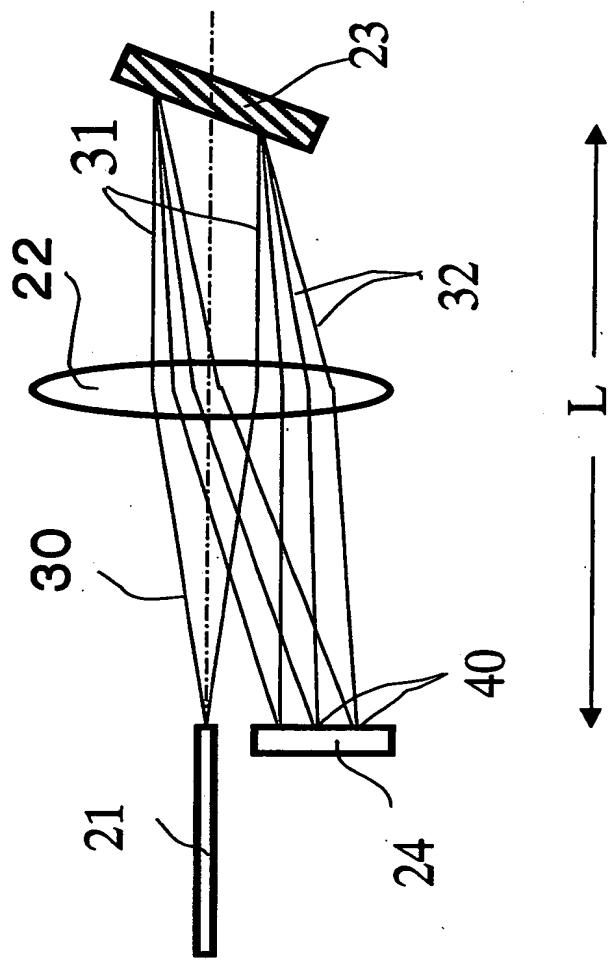
【図9】



【図10】



【図11】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

回折格子からの出射角の波長依存性は小さいため、回折格子を使用した光分波器の性能を向上させるためには装置を大型化せざるを得ないという問題点があった。

【解決手段】

周期的多層膜層の端面を光入射面、もしくは光出射面とする光学素子において、この多層膜層から漏出する光の指向性が良く、その角度の波長依存性が大きいことを利用し、装置を大型化することなく高分解能の分光装置を実現することができる。

【選択図】 図1

認定・付加情報

|         |               |
|---------|---------------|
| 特許出願の番号 | 特願2000-266533 |
| 受付番号    | 50001122295   |
| 書類名     | 特許願           |
| 担当官     | 第七担当上席 0096   |
| 作成日     | 平成12年 9月 5日   |

＜認定情報・付加情報＞

【提出日】 平成12年 9月 4日

次頁無

出願人履歴情報

識別番号 [000004008]

1. 変更年月日 1990年 8月22日

[変更理由] 新規登録

住 所 大阪府大阪市中央区道修町3丁目5番11号  
氏 名 日本板硝子株式会社

2. 変更年月日 2000年12月14日

[変更理由] 住所変更

住 所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目7番28号  
氏 名 日本板硝子株式会社